



# Концепция цифровой платформы на сортировочных станциях



Александр ШАБЕЛЬНИКОВ Иван ОЛЬГЕЙЗЕР

Андрей СУХАНОВ

*Шабельников Александр Николаевич — Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.*

*Ольгейзер Иван Александрович — АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону, Россия.*

*Суханов Андрей Валерьевич — АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Ростов-на-Дону, Россия\*.*

Реализация концепции «Индустрия 4.0» рассмотрена в контексте автоматизации железнодорожного транспорта. Проанализированы предпосылки для создания универсальной цифровой платформы, объединяющей системы автоматизации на сортировочной станции.

На примере ОАО «РЖД» описаны основные цели концепции «Цифровая станция», направленные на слияние данных от низовой автоматики. Представлен функционал системы контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ), реализующей поставленные цели путём обобщения исходной информации от всех действующих на станции систем автоматизации и централизации, проверки её на непротиворечивость, устранения избыточности информации и формирование в реальном времени текущей поездной и вагонной модели сортировочной станции на основе данных «от колеса».

Описан существующий функционал СКПИ ПВЛ РВ, реализованный на реальном объекте внедрения, и представлены преимуще-

ства данной системы для сети грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. Целью работы является представление отдельных ранее не опубликованных технических решений реализации указанного функционала. Методы работы основаны на слиянии разнородных данных, получаемых от напольных устройств, специализированных видеокамер, а также моделей позиционирования вагонов реального времени.

Показано, что внедрение новых технических решений в СКПИ ПВЛ РВ позволит на порядок повысить качество планирования выполнения технологического процесса сортировки железнодорожных вагонов и прогноза необходимости обслуживания инфраструктуры. Представлены алгоритмы глубокого обучения, обеспечивающие функционирование разрабатываемых решений в реальном времени с высокой точностью. Описаны дальнейшие шаги по реализации цифровой платформы в виде цифрового двойника сортировочной станции, что создаст предпосылку для разработки интеллектуального автомата управления сортировочной станцией и планируемые пути реализации.

**Ключевые слова:** железная дорога, сортировочная станция, интеллектуальные технологии, цифровизация, модели реального времени, системы автоматизации, цифровая станция.

\*Информация об авторах:

**Шабельников Александр Николаевич** — доктор технических наук, профессор кафедры информатики Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия, [inf-rgups@yandex.ru](mailto:inf-rgups@yandex.ru).

**Ольгейзер Иван Александрович** — кандидат технических наук, начальник отделения инновационных и интеллектуальных технологий цифровой станции Ростовского филиала АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС), Ростов-на-Дону, Россия, [olgeyzer@rfniias.ru](mailto:olgeyzer@rfniias.ru).

**Суханов Андрей Валерьевич** — кандидат технических наук, заместитель начальника отделения инновационных и интеллектуальных технологий цифровой станции Ростовского филиала АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС), Ростов-на-Дону, Россия, [a.suhanov@rfniias.ru](mailto:a.suhanov@rfniias.ru).

Статья поступила в редакцию 21.05.2020, принята к публикации 18.12.2020.

For the English text of the article please see p. 67.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование современных технологий в рамках концепции Индустрии 4.0 в части цифровизации и интеллектуализации [1] железнодорожной инфраструктуры в целом и сортировочных станций как самых сложных компонентов системы обслуживания грузопотоков, в частности, должно привести к резкому повышению производительности труда, сокращению эксплуатационных расходов, переходу на малолюдные технологии работы с одновременным повышением безопасности прохождения технологических процессов [2].

В настоящий момент на важнейших узловых станциях сети дорог ОАО «РЖД» согласно утверждённой «Актуализированной схеме размещения и программы развития сортировочных станций, с учётом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций» и её подпрограмме «Цифровой сортировочный комплекс» ведётся проектирование и внедрение цифровых модулей, к которым относятся:

- интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС) [3];
- комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом (КСАУ СП) [4];
- маневровая автоматическая локомотивная сигнализация МАЛС [5];
- интерактивный пульт КСАУ СП [6];
- автоматизация маневровых передвижений по горке;
- автоматизированное ограждение/закрепление в парках станции;
- расширенный обмен информацией с автоматизированной системой управления станции (АСУ СТ);
- система контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ) [7].

Существенным недостатком существующих информационных систем на сортировочных станциях, вносящим значительные искажения в формируемые показатели и ограничивающим эффективность автоматизированного планирования работы, является ручной ввод ин-

формации о технологических операциях на сортировочной станции.

На сортировочных станциях внедрены различные устройства и системы автоматизации и централизации контроля и управления (САИ ПС, подсистемы горочного комплекса КСАУ СП, МАЛС, АСКОПВ, ряд систем контроля и диагностики – АДК СЦБ, АПК ДК и др.). При этом ни одна из указанных систем не способна обеспечить формирование полноценной адекватной вагонной и поездной модели станции в реальном времени. Это связано с тем, что информация в каждой из перечисленных систем не является полной и самодостаточной. Так, например, САИ ПС не обеспечивает контроль вагонов, не оборудованных идентификационными датчиками, и обеспечивает контроль только на входе и выходе станции; система МАЛС способна контролировать только маневровые локомотивы, оснащённые соответствующей бортовой аппаратурой; горочный комплекс контролирует только зону горки и сортировочного парка и т.п.

Целью подпрограммы «Цифровой сортировочный комплекс» является создание цифровой платформы, на базе которой обеспечивается слияние данных, получаемых от устройств низовой автоматики, а именно:

- обобщение исходной информации от всех действующих на станции систем автоматизации и централизации;
- проверка получаемой информации на непротиворечивость;
- устранение избыточности информации;
- формирование в реальном времени текущей поездной и вагонной модели сортировочной станции на основе данных «от колеса».

Целью настоящей работы является описание части разработки в рамках подпрограммы «Цифровой сортировочный комплекс», а именно представление ранее не опубликованных технических решений, направленных на повышение достоверности модели расположения подвижных единиц.

Методами настоящей работы являются методы слияния разнородных данных, получаемых от напольных устройств,



специализированных видеокамер, а также моделей позиционирования вагонов реального времени.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Основные задачи разрабатываемой цифровой платформы

*Цифровая станция* должна обеспечить комплексную автоматизацию управления и контроля технологических процессов, состояния станционной инфраструктуры в реальном времени на основе интеграции систем низовой автоматики и исключения ручного ввода информации. Цифровая станция за счёт ведения динамической цифровой модели станции позволит строить график исполненной работы (ГИР) станции только по фактическим данным.

Исходя из этого, цифровая станция должна строиться на следующих принципах [8]:

- покрытие станционных парков устройствами контроля, обеспечивающими возможность ведения достоверной цифровой модели станции;
- непрерывный мониторинг состояния всех устройств, механизмов, подвижных единиц посредством Интернета вещей, создания алгоритмов предсказательной диагностики по прогнозируемому технико-технологическому обслуживанию объектов инфраструктуры, добавления в сеть системы персонала станции;
- непрерывное ведение цифровой модели станции на нескольких уровнях: график исполненной и планируемой работы, фактическое состояние напольных устройств, расположение подвижного состава, расположение локомотивов, расположение персонала.

Реализация вышеуказанных принципов в той или иной степени самостоятельно либо в увязке с другими модулями цифрового сортировочного комплекса, а также с информационными системами верхнего уровня (АСУ станции) осуществляется системой контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ). СКПИ ПВЛ РВ разработана специалистами АО «НИИАС» на основе многолетнего опыта автоматизации сортировочных

процессов на решающих станциях сети дорог ОАО «РЖД».

Разработка СКПИ ПВЛ РВ направлена на:

- построение единой системы фиксации событий на сортировочной станции в режиме реального времени, не зависящей от конкретного типа систем низовой автоматики и напольного оборудования;
- обеспечение АСУ станции достоверной информацией о фактических передвижениях подвижного состава, времени начала и окончания технологических операций на станции по реальным данным.

С этими целями в системе уже реализованы:

- сбор информации от систем низовой автоматики и АСУ станции;
- отслеживание и фиксация передвижения подвижного состава на станции;
- передача в АСУ СТ информации об изменении накопления в парках сортировочной станции;
- передача в АСУ СТ информации о начале и завершении технологических операций в парках станции;
- отображение текущей дислокации подвижного состава на экранах АРМ (в том числе удалённых) и на табло коллективного пользования оперативно-диспетчерского персонала станции;
- протоколирование зафиксированных передвижений подвижного состава по станции;
- протоколирование сообщений при обмене с другими АСУ;
- диагностирование постовых и напольных устройств СЦБ сортировочной станции.

Фактически, в настоящее время СКПИ ПВЛ РВ является не только самостоятельной системой сбора и обработки информации от устройств низовой автоматики, но и агрегатором информации от систем автоматизации и контроля отдельных зон станции (КСАУ СП, ППСС, системы контроля и управления заграждающими устройствами и т.д.).

С учётом большого количества уже существующих внедряемых систем автоматизации на станции и появляющихся новых технических средств, в рамках парадигмы Интернета вещей и других интеллектуаль-

ных технологий Индустрии 4.0 естественным образом появляется необходимость развития СКПИ ПВЛ РВ до общей цифровой станционной платформы взаимодействия всех систем, устройств, подвижных единиц и персонала на станции в реальном времени посредством общей виртуальной «сети». К основным функциям такой цифровой платформы можно отнести:

- ведение единой модели реального времени состояния всех напольных устройств на станции;
- ведение единой модели реального времени расположения всех подвижных единиц станции (вагон, локомотив, маневровая группа, состав). Модель должна включать информацию о типе, габаритах, состоянии подвижного состава по данным, полученным от ППСС, либо от других пунктов фиксации перемещения подвижного состава по станции;
- ведение единой модели реального времени расположения всего персонала станции, находящегося в опасных зонах и имеющего электронные средства контроля местоположения;
- обеспечение информационного взаимодействия между смежными подсистемами по общему универсальному протоколу взаимодействия за счёт информации из модели реального времени;
- возможность добавления новых устройств, персонала и систем в общую «сеть»;
- передача данных о перемещениях перерабатываемого вагонопотока и маневровых локомотивов, а также о состоянии напольных устройств в систему верхнего уровня для формирования плана работ и графика исполненной работы по данным «от колеса»;
- сохранение всей поступающей информации в базу данных;
- работа с большими данными по накопленной статистике для анализа узких мест и возможных резервов в использовании оборудования;
- диагностика и выдача рекомендаций по необходимому техническому обслуживанию и очередности выполнения тех или иных технологических процессов.

Реализация вышеуказанных функций цифровой платформы на основе СКПИ ПВЛ РВ специалистами АО «НИИАС»

планируется при внедрении системы на станции Челябинск-Главный в рамках выполнения инвестиционной программы «Цифровой сортировочный комплекс».

В рамках реализации функций цифровой платформы специалистами института разработаны и разрабатываются научная основа и ряд дополнительных технических решений.

### **Технические решения по совершенствованию СКПИ ПВЛ РВ для реализации функций цифровой платформы**

Одним из технических решений, предназначенных для повышения достоверности модели расположения подвижных единиц на станции, является разработанная специалистами института универсальная счётная точка (СТУ). В состав универсальной счётной точки входят устройства фиксации осей подвижного состава (УФПО), прожекторы освещения для создания равномерного освещения зоны контроля и специализированные камеры для идентификации типа подвижного состава.

Универсальная счётная точка обеспечивает не только идентификацию факта перемещения и фиксацию общего количества осей переставляемой группы подвижного состава, но и контроль инвентарного номера, количества подвижных единиц и количества осей в каждой подвижной единице.

Эпюра размещения СТУ в междупутье показана на рис. 1.

Выполнение СТУ своих функций реализовано за счёт слияния данных, полученных от напольных устройств (датчиков счёта осей, рельсовых цепей), от специализированных видеокамер и от модели реального времени расположения всех подвижных единиц на станции.

Данные, получаемые от специализированных камер, проходят предобработку на основе алгоритмов технического зрения (рис. 2).

Использование алгоритмов глубокого обучения (рис. 3, базовая архитектура искусственной нейронной сети взята из [9]) и механизмов параллельных вычислений [10] обеспечивает обработку данных и их передачу в центральный модуль управления в реальном времени. Отличительной особенностью используемого





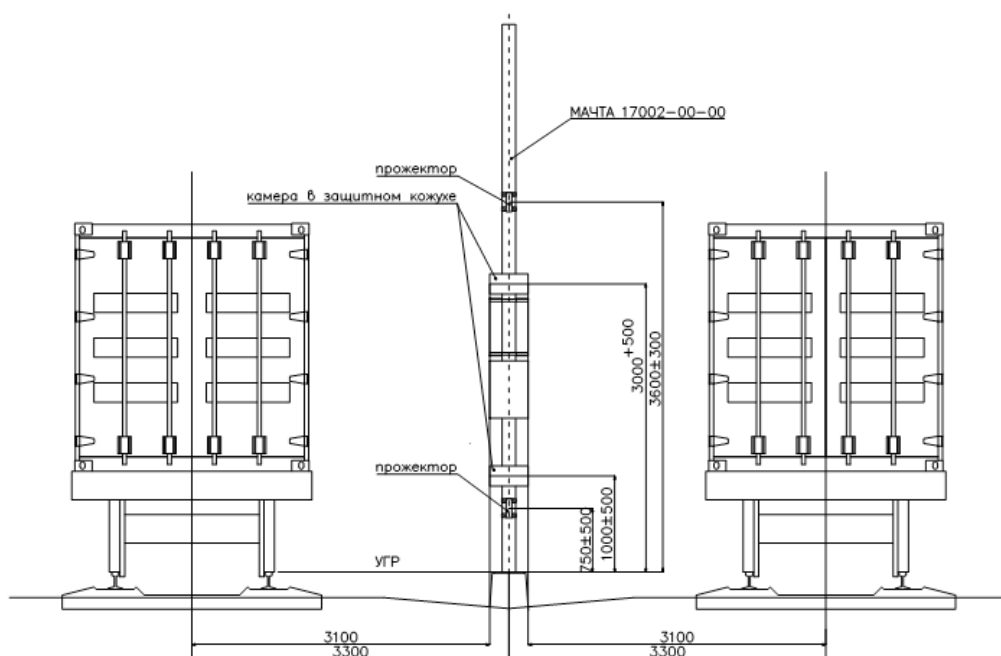


Рис. 1. Размещение универсальной счётной точки СТУ (АО «НИИАС»).

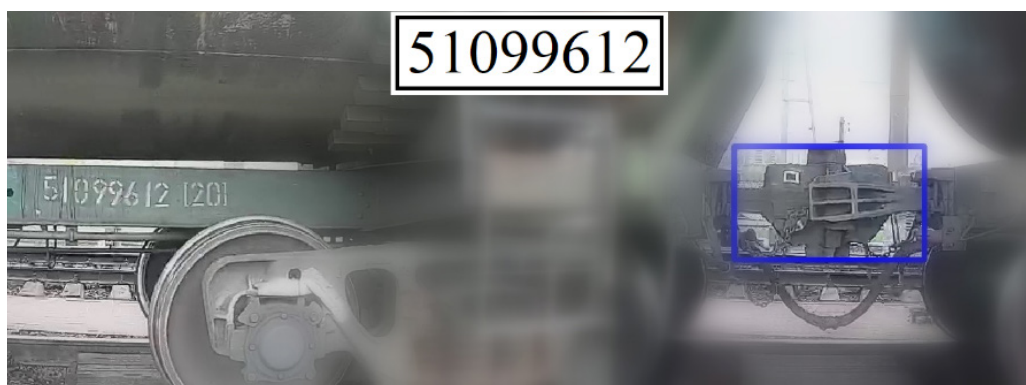


Рис. 2. Иллюстрация работы СТУ (фотография АО «НИИАС»).

инструментария является одновременное детектирование нескольких показателей — автосцепок, осей и номеров подвижного состава.

При этом за счёт взаимодействия каждой счётной точки с общей станционной моделью размещения подвижного состава достигается очень высокая точность идентификации при минимальном составе оборудования счётной точки.

#### Дальнейшие этапы развития проекта

Модель реального времени по размещению подвижных единиц на станции и по состоянию напольных устройств

с достоверной информацией «от колеса» позволит на порядок повысить качество планирования выполнения технологического процесса в информационных системах верхнего уровня (АСУ СТ) с учётом реального состояния и прогноза необходимости обслуживания инфраструктуры.

Только в случае реализации основных функций цифровой платформы на станции, указанных выше, станет возможной реализация алгоритмов микропроцессорной централизации с возможностью автоматического исполнения программы маршрутных заданий любого размера.

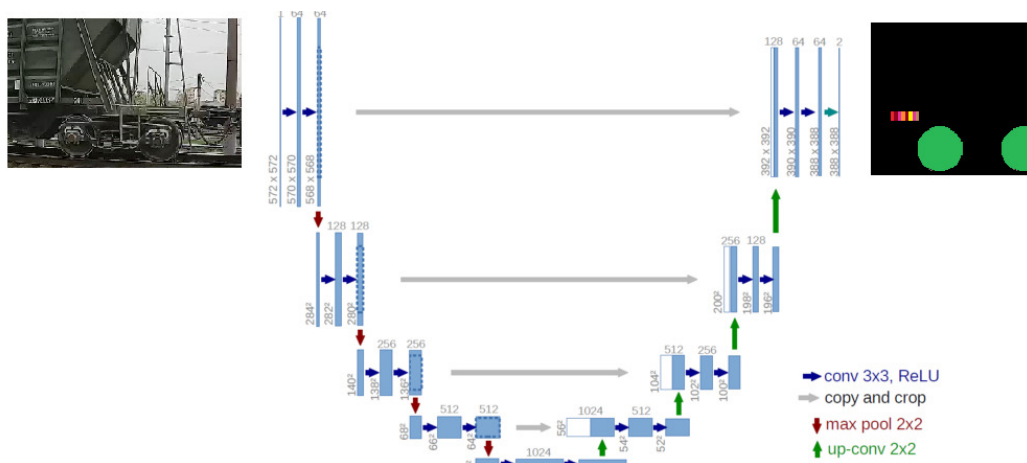


Рис. 3. Архитектура используемой искусственной нейронной сети для выделения контуров автосцепок, осей и номеров подвижного состава (с использованием [9]).

Это, в свою очередь, позволит решить задачу создания интеллектуального автомата, способного заменить человека при подготовке и проверке маршрутов приёма-отправления поездов.

В таком случае цифровая платформа для сторонних систем фактически превращается в цифровой двойник [11] станции. Это позволяет использовать технологии дополненной реальности: представлять прогнозируемые производственные результаты работы станции, то

есть, предоставлять обслуживающему персоналу информацию о том, что будет на различных горизонтах планирования работ; отражать текущее и прогнозировать будущее состояние объектов инфраструктуры станции, например, остаточный ресурс работы компрессорной станции и время технического обслуживания.

В этом случае цифровой двойник, по мере накопления в своём составе элементов – цифровых копий устройств



Рис. 4. Структурная схема взаимодействия цифровой платформы и подсистем цифровой станции (составлена авторами).

На схеме: ИСУЖТ – интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом, АСОУП – автоматизированная система оперативного управления перевозками, ГИД УРАЛ – автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения, ЭЦ, ДЦ, МПЦ – системы централизации.

инфраструктуры, а также статистики их функционирования, за счёт множества зафиксированных вариантов их взаимодействия становится в сущности полноценным носителем искусственного интеллекта.

Предлагаемая структура взаимодействия подсистем цифровой станции и цифровой платформы будет выглядеть следующим образом (рис. 4).

Особенностью предлагаемой структуры является возможность добавления новых подсистем посредством подключения к цифровой платформе по единому протоколу информационного взаимодействия.

Кроме того, человек-оператор не сможет изменить физические параметры технологического процесса (изменение дислокации подвижного состава, контрольные сигналы начала/окончания технологических операций) при несоответствии предлагаемых изменений показаниям данным системы от технических устройств.

Внедрение указанных систем и модулей в различной конфигурации предполагается в ближайшие 3–5 лет на 27 решающих сортировочных станциях сети дорог ОАО «РЖД».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описаны задачи, поставленные в ходе реализации подходов в рамках концепции Индустрии 4.0 при автоматизации железнодорожных сортировочных станций. Представлены основы концепции цифровой платформы, которая позволит осуществить комплексную автоматизацию управления и контроля технологических процессов в реальном времени на основе слияния данных, получаемых от различных станционных устройств, с исключением человеческого фактора.

Приведено новое техническое решение — универсальная счётная точка, позволяющая повысить достоверность модели реального времени станции в составе предлагаемой платформы, и описаны алгоритмы её работы. Кроме того, в ра-

боте описано текущее состояние разработки и внедрения предлагаемой цифровой платформы и дальнейшие планы реализации проекта.

Предложенный, в значительной мере универсальный, подход к формату новых решений при цифровизации работы сортировочных станций может быть использован на различных железных дорогах при условии его адаптации к наличию действующих автоматических систем управления и оборудованию станций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шабельников А. Н., Суханов А. В. Компоненты киберфизических систем в составе КСАУ СП // Автоматика, связь, информатика. — 2020. — № 1. — С. 12–14. DOI: 10.34649/AT.2020.1.1.002.
2. Розенберг И. Н., Шабельников А. Н. Цифровая сортировочная станция // Железнодорожный транспорт. — 2018. — № 10. — С. 13–17.
3. Розенберг Е. Н., Батраев В. В. Разработка перспективных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО РЖД. — 2017. — № 4. — С. 43–51. [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30763584\\_22331826.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30763584_22331826.pdf). Доступ 29.05.2020.
4. Шабельников А. Н., Соколов В. Н. КСАУ СП — новое направление автоматизации сортировочных горок // Автоматика, связь, информатика. — 2017. — № 8. — С. 2–4.
5. Замышляев А. М., Калинин А. В., Долганюк С. И. Система МАЛС: задачи и перспективы // Автоматика, связь, информатика. — 2016. — № 10. — С. 30–33.
6. Аношкин В. В., Шабельников А. Н., Шипулин Н. П. Интерактивный горочный пульт // Автоматика, связь и информатика. — 2020. — № 5. — С. 11–12.
7. Шабельников А. Н., Смородин А. Н. Комплексная автоматизация узлов сортировочной станции // Автоматика, связь и информатика. — 2018. — № 4. — С. 12–14.
8. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Рогов С. А. От механизации к цифровизации сортировочной станции // Автоматика, связь и информатика. — 2018. — № 1. — С. 21–23.
9. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention — MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2015, Vol. 9351, pp. 234–241. [Электронный ресурс]: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-24574-4\\_28.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-24574-4_28.pdf). Доступ 29.05.2020.
10. Sergeev, A., Del Balso, M. Horovod: fast and easy distributed deep learning in TensorFlow // arXiv preprint arXiv:1802.05799, 2018. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/abs/1802.05799>. Доступ 29.05.2020.
11. Ольгейзер И. А. Цифровой двойник сортировочной горки // Автоматика, связь и информатика. — 2020. — № 1. — С. 20–22. ●

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 19-07-00263, 19-07-00195, 20-07-00100, 20-37-51002).